

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-318990

(43) 公開日 平成4年(1992)11月10日

(51) Int.Cl. <sup>3</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/109		7630-4M		
G 0 2 F 1/37		7246-2K		

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平3-86404

(22) 出願日 平成3年(1991)4月18日

(71) 出願人 000005201

富士写真フイルム株式会社  
神奈川県南足柄市中沼210番地

(72) 発明者 日向浩彰

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富  
士写真フイルム株式会社内

(72) 発明者 後藤千秋

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富  
士写真フイルム株式会社内

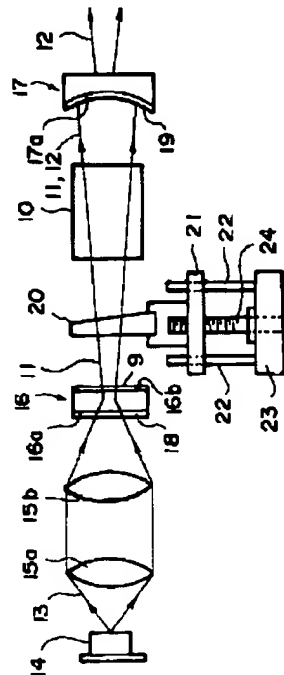
(74) 代理人 弁理士 柳田 征史 (外1名)

(54) 【発明の名称】 光波長変換装置

(57) 【要約】

【目的】 レーザダイオードポンピング固体レーザーの共振器内に配された非線形光学効果を有する2軸性結晶により、固体レーザー発振ビームを第2高調波に変換する光波長変換装置において、上記結晶における固体レーザー発振ビームの位相差により、該ビームの直線偏光方向が結晶光学軸に対して所定角度をなす状態から外れて、波長変換効率が低下することを防止する。

【構成】 固体レーザーの共振器内に、くさび状に形成されたエタロン板20を配設し、このエタロン板20を、レーザービーム11の通過長が変わる方向に移動自在として、発振波長を調節可能とする。



1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザーダイオードポンピング固体レーザーの共振器内に配され、入射した基本波としての固体レーザー発振ビームを、タイプIIの位相整合を取って第2高調波に変換する非線形光学材料の結晶と、前記共振器内に配されて固体レーザー発振ビームの波長を調節可能に選択する波長選択素子とが設けられてなる光波長変換装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、基本波を第2高調波に変換する光波長変換装置に関し、特に詳細には、レーザーダイオードポンピング固体レーザーの共振器内に配され、基本波と第2高調波との間でタイプIIの位相整合が取られるようにした光波長変換装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 例えば特開昭62-189783号公報に示されるように、ネオジウム等の希土類がドーピングされた固体レーザーロッドを半導体レーザー（レーザーダイオード）によってポンピングするレーザーダイオードポンピング固体レーザーが公知となっている。この種のレーザーダイオードポンピング固体レーザーにおいては、より\*

$$n_x^\omega, n_y^\omega, n_z^\omega, n_x^{2\omega}, n_y^{2\omega}, n_z^{2\omega}$$

【0007】 とする。次に、

$$k_x = \sin \theta \cdot \cos \phi$$

$$k_y = \sin \theta \cdot \sin \phi$$

$$\times k_z = \cos \theta$$

としたとき、

## 【0008】

※

## 【数3】

$$\frac{k_x^2}{(n^\omega)^{-2} - (n_x^\omega)^{-2}} + \frac{k_y^2}{(n^\omega)^{-2} - (n_y^\omega)^{-2}} + \frac{k_z^2}{(n^\omega)^{-2} - (n_z^\omega)^{-2}} = 0$$

## 【0009】

## 【数4】

$$\frac{k_x^2}{(n^{2\omega})^{-2} - (n_x^{2\omega})^{-2}} + \frac{k_y^2}{(n^{2\omega})^{-2} - (n_y^{2\omega})^{-2}} + \frac{k_z^2}{(n^{2\omega})^{-2} - (n_z^{2\omega})^{-2}} = 0$$

【0010】 上記（数3）および（数4）の解が位相整合条件となる。

## 【0011】

## 【数5】

\*短波長のレーザー光を得るために、その共振器内に非線形光学材料のバルク単結晶を配設して、固体レーザー発振ビームを第2高調波に波長変換することも行なわれている。

【0003】 ところで上記非線形光学材料の結晶としては、例えばKTPのような2軸性結晶が用いられることも多い。J. Appl. Phys. Vol. 55, p65 (1984) にはYaoらによって、2軸性結晶であるKTPの位相整合方法に関する内容が詳細に記述されている。以下、ここに記述されている2軸性結晶における位相整合方法に関して説明する。図4に示すように $\theta$ を光の進行方向と結晶の光学軸Zとのなす角度とし、 $\phi$ を光学軸X、Yを含む面においてX軸からの光の進行方向の角度とする。ここで、任意の角度で入射したときの基本波および第2高調波に対する結晶の屈折率を各々

## 【0004】

## 【数1】

$$n^\omega, n^{2\omega}$$

【0005】 とし、基本波および第2高調波の光学軸X、Y、Z各方向の偏光成分に対する結晶の屈折率をそれぞれ、

## 【0006】

## 【数2】

3

4

$$\begin{aligned}
 B_1 &= -k_x^2 (b_1 + c_1) \\
 &\quad -k_y^2 (a_1 + c_1) \\
 &\quad -k_z^2 (a_1 + b_1) \\
 C_1 &= k_x^2 b_1 c_1 + k_y^2 a_1 c_1 \\
 &\quad + k_z^2 a_1 b_1 \\
 B_2 &= -k_x^2 (b_2 + c_2) \\
 &\quad -k_y^2 (a_2 + c_2) \\
 &\quad -k_z^2 (a_2 + b_2) \\
 C_2 &= k_x^2 b_2 c_2 + k_y^2 a_2 c_2 \\
 &\quad + k_z^2 a_2 b_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_1 &= (n_x^\omega)^{-2} & a_2 &= (n_x^{2\omega})^{-2} \\
 b_1 &= (n_y^\omega)^{-2} & b_2 &= (n_y^{2\omega})^{-2} \\
 c_1 &= (n_z^\omega)^{-2} & c_2 &= (n_z^{2\omega})^{-2}
 \end{aligned}$$

【0012】とおいたとき(数3)および(数4)式の解は、

【0013】

【数6】

$$n^{\omega, 1} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{-B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4C_1}}}$$

【0014】

【数7】

$$n^{2\omega, 1} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{-B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4C_2}}}$$

【0015】(複号は $i=1$ のとき+、 $i=2$ のとき-)となる。

【0016】ここで、

【0017】

【数8】

$$n^{\omega, 2} = n^{2\omega, 1}$$

【0018】なる条件が満足されるとき、基本波と第2高調波との間で位相整合が取られ、これはタイプIの位相整合と称されている。また、

【0019】

【数9】

$$1/2 (n^{\omega, 1} + n^{\omega, 2}) = n^{2\omega, 1}$$

【0020】なる条件が満たされるときにも、基本波と第2高調波との間で位相整合が取られ、これは一般にタイプIIの位相整合と称されている。

【0021】ところで、上記のような2軸性結晶を用い

てタイプIIの位相整合を取る場合、結晶に入射させる基本波が該結晶に関して2つの屈折率を感じるようになる。例えば結晶の非線形光学定数 $d_{14}$ を利用する場合、すなわち図5に示すように結晶10の光学軸YからZ軸側に45°傾いた方向に直線偏光した(つまりY軸方向の直線偏光成分とZ軸方向の直線偏光成分とを有する)基本波11を入射させて、Y軸方向に直線偏光した第2高調波12を取り出す場合、基本波11は屈折率

30

【0022】

【数10】

$$n^{\omega, 1}$$

【0023】つまりZ軸方向の偏光成分が感じる屈折率と、屈折率

【0024】

【数11】

$$n^{\omega, 2}$$

40 【0025】まり光の進行方向とZ軸に直角なY'方向の偏光成分が感じる屈折率の双方を感じる。

【0026】なお図5のように結晶10がカットされている場合、厳密に言えば、基本波11はY'方向(Y軸からX軸側に傾いた方向)およびZ軸方向に直線偏光した状態で入射され、第2高調波12はY'方向に偏光した状態で取り出されることになるが、実用上は上記のように考えて差支えない。

【0027】上述のように、基本波が2つの屈折率を感じると、それぞれの屈折率に対する偏光成分の間に下記の位相差 $\Delta$ が生じる。

50

【0028】

【数12】

$$\Delta = (n^{\circ}_{.2} - n^{\circ}_{.1}) L \cdot 2\pi / \lambda$$

 $\lambda$  : 基本波波長 $L$  : 結晶長

【0029】この位相差 $\Delta$ が生じると、基本波の直線偏光方向が位相差 $\Delta$ の値に応じて変化することになる。こうして基本波の直線偏光方向が変化すると、非線形光学材料結晶の光学軸に対する基本波偏光方向の角度が、最大波長変換効率を得る所定角度からずれてしまい、第2高調波の光強度が低下することになる。

【0030】そこで、最大の第2高調波出力を得るためには、結晶温度を最適に制御したり、あるいは結晶長を最適に調整する必要がある。例えば米国特許第4,913,533号明細書には、前者の手法を採る光波長変換装置の一例が示されており、一方特開平1-152781号公報、同1-152782号公報には、後者の手法を採る光波長変換装置の一例が示されている。

【0031】

【発明が解決しようとする課題】しかし、結晶長を任意に設定しておいて、結晶温度の制御によって最大の第2高調波出力を得ようとする、大きな温度調節ストロークが求められるために温調電源やヒートシンクが大型化し、光波長変換装置の大型化やコストアップを招く。

【0032】一方、結晶温度が一定となるように温度調節をし、個々の結晶の長さをその温度に対して最適な値に調整して対応する場合は、結晶長の許容誤差が極めて小さいため、現実には、最大の第2高調波出力を得るのは非常に困難となっている。そして、たとえそのようなことが可能でも、この場合には、結晶長の厳密な測定および調整の作業が必要となるから、光波長変換装置が大幅にコストアップしてしまう。

【0033】本発明は上記のような事情に鑑みてなされたものであり、基本波と第2高調波との間でタイプIIの位相整合が取られる非線形光学材料の結晶を用いて、最大の第2高調波出力を得ることができ、しかも小型かつ安価に形成可能な光波長変換装置を提供することを目的とするものである。

【0034】

【課題を解決するための手段】本発明による光波長変換装置は、前述したようにレーザーダイオードポンピング固体レーザーの共振器内に配され、入射した基本波としての固体レーザー発振ビームを、タイプIIの位相整合を取って第2高調波に変換する非線形光学材料の結晶に加えて、◆上記共振器内に配されて固体レーザー発振ビームの波長を調節可能に選択する波長選択素子が設けられたことを特徴とするものである。

【0035】

【作用および発明の効果】上記の構成においては、波長選択素子により固体レーザーの発振波長を変え、前記(数12)式における基本波波長 $\lambda$ が変化し、またそれにともなって屈折率

【0036】

【数13】

 $n^{\circ}_{.2}$ および $n^{\circ}_{.1}$ 

【0037】も変化するので、位相差 $\Delta$ の値が変化する。すると、それに応じて基本波の偏光方向も変化する。そこで、波長選択素子により発振波長を適当に調節すれば、非線形光学材料結晶に対する基本波の偏光方向を、最大の波長変換効率を得られるように設定することができ、高強度の波長変換された短波長レーザービームを得ることが可能となる。

【0038】そして上記構成の本発明装置は、大型かつ高精度の温度調節手段は不要で、結晶長の厳密な測定や調整も不要であるから、小型、安価に形成可能となる。

【0039】また上記の構成においては、波長選択素子の作用で固体レーザーが単一縦モード発振するので、波長変換された短波長レーザービームにモード競合によるノイズが生じることが防止される。

【0040】

【実施例】以下、図面に示す実施例に基づいて本発明を詳細に説明する。図1は、本発明の第1実施例による光波長変換装置を示すものである。この光波長変換装置を有するレーザーダイオードポンピング固体レーザーは、ポンピング光としてのレーザービーム13を発する半導体レーザー（フェーズドアレイレーザー）14と、発散光である上記レーザービーム13を平行光化するコリメーターレンズ15aと、このレンズ15aを通過したレーザービーム13を集束させる集光レンズ15bと、ネオジウム（Nd）がドーピングされた固体レーザーロッドであるYVO<sub>4</sub>ロッド（以下、Nd:YVO<sub>4</sub>ロッドと称する）16と、このNd:YVO<sub>4</sub>ロッド16の前方側（図中右方側）に配された共振器ミラー17と、この共振器ミラー17とNd:YVO<sub>4</sub>ロッド16との間に配されたKTP結晶10と、このKTP結晶10とNd:YVO<sub>4</sub>ロッド16との間に配されたエタロン板20とからなる。以上述べた各要素は、共通の筐体（図示せず）にマウントされて一体化されている。なおフェーズドアレイレーザー14は、図示しないペルチェ素子と温調回路により、所定温度に温調される。

【0041】このフェーズドアレイレーザー14としては、波長 $\lambda_1 = 809 \text{ nm}$ のレーザービーム13を発するものが用いられている。一方Nd:YVO<sub>4</sub>ロッド16は、上記レーザービーム13によってネオジウム原子が励起されることにより、基本波長 $\lambda_2 = 1064 \text{ nm}$ のレーザービーム11を発する。

【0042】Nd:YVO<sub>4</sub>ロッド16の光入射側端面16aには、波長1064 nmのレーザービーム11は良好に反射

させ（反射率99.9%以上）、波長809 nmのポンピング用レーザービーム13は良好に透過させる（透過率99%以上）コーティング18が施されている。またNd:YVO<sub>4</sub>、ロッド16の光出射側端面16bには、波長1064nmのレーザービーム11を良好に透過させる（透過率99.9%以上）無反射コーティング9が施されている。一方共振器ミラー17のKTP結晶10側の面17aは球面の一部をなす形状とされ、その表面には、波長1064nmのレーザービーム11および波長809 nmのレーザービーム13は良好に反射させ、そして後述する波長532 nmの第2高調波12は良好に透過させるコーティング19が施されている。したがって波長1064nmのレーザービーム11は、上記の面16a、17a間に閉じ込められて、レーザー発振を引き起こす。エタロン板20の両端面においては、特に無反射コーティングは施されていない。なお特に図示はしないがKTP結晶10のエタロン板20側の端面には、上記無反射コーティング9と同様のコーティングが施されている。

【0043】このレーザービーム11は非線形光学材料であるKTP結晶10に入射して、波長が1/2すなわち532 nmの第2高調波12に波長変換される。共振器ミラー17の面17aには前述した通りのコーティング19が施されているので、この共振器ミラー17からは、ほぼ第2高調波12のみが取り出される。

【0044】波長選択素子としてのエタロン板20は、くさび状に形成されている。またそれを保持した保持部材21には、図中上下方向に延びる複数のガイドロッド22が挿通されている。これらのガイドロッド22の下端部は固定台23に固定されており、保持部材21はガイドロッド22に沿って上下方向に移動自在となっている。そして固定台23には精密ねじ24が回転自在に保持され、この精密ねじ24の先端部は上記保持部材21に螺合されている。したがって精密ねじ24が回転されると、保持部材21が上下方向に螺進退し、エタロン板20が上下移動する。なお、上記のようなエタロン板20がレーザービーム11の光路に挿入されていることにより、このレーザービーム11の発振波長がエタロン板20の厚みに応じて所定値に選択される。

【0045】図5に詳しく示すように、2軸性結晶であるKTP結晶10は、YZ面をZ軸周りに24°回転させた面でカットされている。この構成においては、矢印Pで示すレーザービーム11の直線偏光方向とZ軸とが45°の角度をなす場合に、大きな非線形光学定数d<sub>31</sub>が利用された上で、基本波としてのレーザービーム11と第2高調波12との間で良好にタイプIIの位相整合が取られ、最大強度の第2高調波12が得られる。

【0046】しかし、KTP結晶10によりレーザービーム11に前述のような位相差Δが生じると、その値に応じてレーザービーム11の直線偏光方向が変化してしまうので、上記45°の角度を実現できないことも起こり得る。

そこで、前述した精密ねじ24を右回りあるいは左回りに回転させて、エタロン板20を上下方向に微小量ずつ移動させると、該エタロン板20におけるレーザービーム11の光路長が変化するので、選択される発振波長の値が極く僅かずつ変化する。レーザービーム11の波長が変化すると、前述したように位相差Δの値が変化し、したがってその直線偏光方向も変化する。このようにしてレーザービーム11の直線偏光方向を微調整すれば、この直線偏光方向が上述したようにZ軸に対して45°をなす状態が得られ、そのときに最大強度の第2高調波12を得ることができる。なおくさび状のエタロン板20は、一方の光通過面に対して他方の光通過面が例えば1°程度の角度をなすように形成すればよい。

【0047】また、上記のようなエタロン板20を設けたことにより、このレーザーダイオードポンピング固体レーザーは単一縦モード発振するようになる。したがってこのレーザーダイオードポンピング固体レーザーにおいては縦モード競合が起こることがなく、それによるノイズの発生を防止できる。

【0048】次に図2を参照して、本発明の第2実施例について説明する。なおこの図2において、図1中のものと同等の要素については同番号を付し、それらについての重複した説明は省略する（以下、同様）。

【0049】この第2実施例におけるエタロン板30は、2つの光通過面が平行平面とされたものであるが、保持部材31に対して、回転軸32を中心に回転自在に保持されている。そして保持部材31には、調節つまみ33が回転軸34を中心に回転自在に取り付けられている。この回転軸34は、図示しない減速歯車列を介して上記回転軸32に連結されている。したがって、調節つまみ33が回転操作されると、エタロン板30が回転軸32を中心にして回転する。このようにしてエタロン板30が回転されると、そこにおけるレーザービーム11の通過長が変化するので、この場合も第1実施例と同様にレーザービーム11の直線偏光方向を調節可能となる。

【0050】次に図3を参照して、本発明の第3実施例について説明する。この実施例においては、Nd:YVO<sub>4</sub>、ロッド16がくさび状に形成されている。そしてその光出射側端面16bに、前述の無反射コーティング9（図1および図2参照）は施されていない。この構成のNd:YVO<sub>4</sub>、ロッド16においては、レーザービーム11の一部（例えば20%程度）が光出射側端面16bで反射して光入射側端面16a側に戻り、定在波が生じるようになるので、該ロッド16は、選択波長を調節可能な波長選択素子としても機能する。このNd:YVO<sub>4</sub>、ロッド16は、図1の装置のものと同様の保持部材21に取り付けられ、精密ねじ24を回転操作することにより図中上下方向に移動可能とされている。この構成においても、Nd:YVO<sub>4</sub>、ロッド16を上下移動させることにより、レーザービーム11の発振波長を変化させ、その直線偏光方向を調節

することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例装置の側面図

【図2】本発明の第2実施例装置の側面図

【図3】本発明の第3実施例装置の側面図

【図4】本発明に関連する結晶内部での基本波進行方向と光学軸Zとがなす角度 $\theta$ 、および基本波進行方向と光学軸Xとがなす角度 $\phi$ を説明する概略図

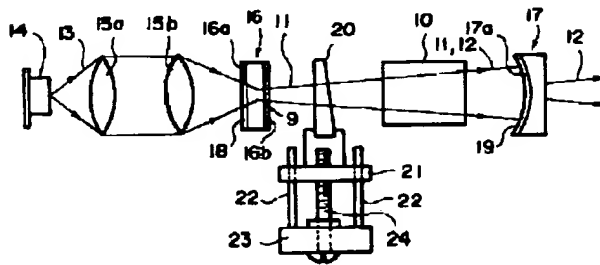
【図5】非線形光学材料の光学軸と基本波の直線偏光方向との関係を説明するための概略図

【符号の説明】

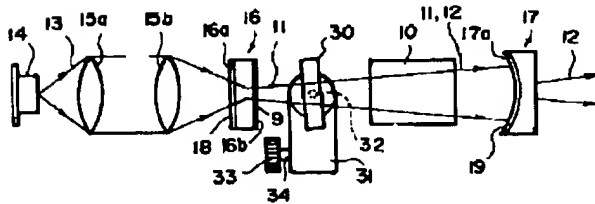
9、18、19 コーティング

10 KTP結晶  
11 レーザービーム（基本波）  
12 第2高調波  
16 Nd:YVO<sub>4</sub> ロッド  
17 共振器ミラー  
20、30 エタロン板  
21、31 保持部材  
22 ガイドロッド  
23 固定部材  
24 精密ねじ  
32、34 回転軸  
33 調整つまみ

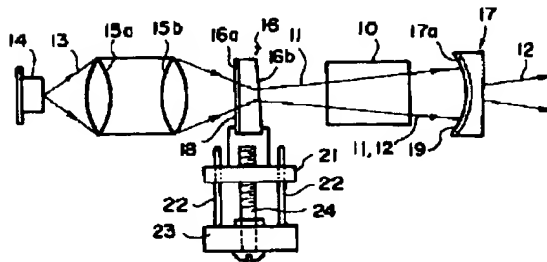
【図1】



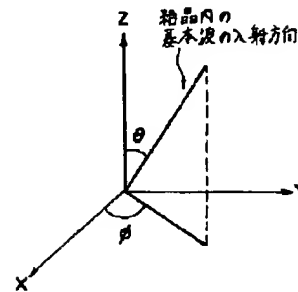
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

